

TRABAJO TEÓRICO
Grado en Ingeniería Robótica

VEHÍCULOS AUTÓNOMOS



Autores: Jorge Beltrá Fuerte, Laura García García, Zuleika María Redondo García, Cristina Romero Mirete
Asignatura: Robots Móviles
Fecha: 9 de enero de 2023
Grupo: 2

Índice general

1. Introducción	3
2. Clasificación	5
3. Repaso histórico	7
4. Componentes <i>hardware</i> y <i>software</i>	14
4.1. Componentes <i>software</i>	14
4.2. Componentes <i>hardware</i>	15
5. Legislación y regulación	16
6. Problemas y perspectivas de futuro	21
7. Demostración práctica	29
8. Bibliografía	32

Apartado 1

Introducción

La robótica móvil es una disciplina dentro de la robótica en la que se trata de diseñar y crear robots capaces de desplazarse por un entorno con la finalidad de realizar tareas. Además, actualmente, están presentes en muchos más de los campos que se pueda pensar, ya que son muy versátiles, pudiendo encontrarlos tanto en el entorno doméstico como en terrenos hostiles. Sin embargo, todavía es una disciplina en desarrollo y se actualiza de manera constante, por lo que a día de hoy, aun habiendo muchos avances en este campo, se queda abierto a nuevas actualizaciones e innovaciones con las que se irá ampliando este ámbito.

En cuanto a este proyecto, será centrado en los vehículos autónomos, que son aquellos que no necesitan ser operados por nadie, ni a bordo de éste ni a distancia. A lo largo del documento se verá su definición, su clasificación, su historia, algunos componentes comunes, la legislación y regulación actual, problemas que presentan y cómo son las perspectivas a futuro.

Además, se añadirá un ejemplo práctico a través del que se pretende visualizar cómo los vehículos autónomos perciben el entorno para tomar decisiones. Esto será mejor explicado en el apartado correspondiente, donde se mostrarán diversas situaciones, se comentarán los resultados y, para que sea más visual, se adjuntará un vídeo de cada una de ellas. Asimismo, se ha realizado un vídeo resumen de la información recabada en este informe y que se puede ver en el siguiente enlace: <https://drive.google.com/file/d/1iaqu5-YPD0AH3zkLZZ3p47keDzi8a8-Z/view?usp=sharing>

De esta manera, se debe comprender que estos vehículos engloban a todos aquellos en los que el conductor humano no interviene directamente. Para no tener que ser controlados por un operador se basan en la tecnología como cámaras, sensores e incluso Inteligencia Artificial para poder tomar decisiones. En este grupo podemos encontrar cualquier tipo de vehículos como barcos o coches, pero se tratarán en profundidad estos últimos y similares terrestres.

APARTADO 1. INTRODUCCIÓN

Apartado 2

Clasificación

Como se ha mencionado inicialmente, estos vehículos pueden ser clasificados según varios criterios, pudiéndose agrupar de diferentes formas. Sin embargo, una manera de clasificarlos que puede resultar interesante y sobre la que más se ha indagado es la clasificación según la **autonomía** del vehículo, considerando así seis niveles, partiendo de una autonomía nula que depende del operador a una conducción autónoma, pasando por niveles intermedios como se verá en el *Cuadro 2.1* y se explicará posteriormente.

Nivel de autonomía	Descripción
Nivel 0	Conducción completamente manual, sin asistencia de tecnología
Nivel 1	Asistencia en una sola función, como el mantenimiento de velocidad
Nivel 2	Asistencia en varias funciones, como el acelerar y el frenar
Nivel 3	Conducción autónoma en situaciones limitadas
Nivel 4	Conducción autónoma en la mayoría de las situaciones
Nivel 5	Conducción autónoma en todas las situaciones

Cuadro 2.1: Clasificación según autonomía.

Como se ha dicho y se puede diferenciar en el cuadro 2.1, la clasificación está compuesta por seis niveles. Cada uno de estos, ordenados de menor a mayor autonomía y aunque en el cuadro anterior se haga una pequeña descripción, a continuación se indagará más en cada uno, además de ejemplificarlos.

- **Nivel 0:** En este nivel podemos encontrar una amplia variedad de vehículos, sobre todo, coches de más antigüedad. Estos deben ser controlados manualmente en todo momento y no disponen de tecnología ni asistencia autónoma, requiriendo un conductor de forma permanente que tome las decisiones.

APARTADO 2. CLASIFICACIÓN

- **Nivel 1:** Algunas de las funciones pueden realizarse de manera autónoma por el coche, a través de un *feedback* que se recibe por diversos sensores. Un ejemplo podría ser el asistente que nos permite un cambio de carril imprevisto, donde detecta que si el coche va a cambiar de carril sin señalizar intenta mantenerlo en el carril moviendo el volante.
- **Nivel 2:** En este nivel, todavía se requiere que el conductor se encuentre atento al entorno por si tuviera que intervenir, aunque el coche ya presenta una cierta autonomía donde ya es capaz de desplazarse manteniendo la velocidad, distanciamiento del resto de coches, aceleración y frenado autónomos, entre otros.
- **Nivel 3:** El vehículo es autónomo, pero requiere del conductor en determinadas ocasiones o circunstancias ya que puede no actuar de la manera prevista ante situaciones poco usuales. Un ejemplo que podemos encontrar de esto, serían las últimas generaciones de Audi A8.
- **Nivel 4:** Con diferencia del nivel anterior, aunque el vehículo es también completamente autónomo, este requiere de menos intervención humana y solo será requerida en situaciones muy complejas o peligrosas donde el conductor tomará control para evitar que las decisiones que se pudieran tomar conllevaran a una situación grave. Ejemplos que se pueden encontrar actualmente serían Waymo o Cruise AV de General Motors (*Figura 2.1*).



Figura 2.1: Vehículo autónomo Nivel 4 Cruise AV.

- **Nivel 5:** Estos vehículos (todavía no comercializados) serían capaces de manejarse de manera autónoma en cualquier situación, sin necesidad de intervención humana. Como se ha mencionado, todavía no existen a la venta, pero algunas empresas están trabajando con el objetivo de lograr desarrollarlos a futuro como Zoox o las ya mencionadas Waymo o Cruise.

Como se ha podido observar en esta clasificación, la conducción completamente autónoma todavía no se ha logrado y es un campo, todavía por explorar en el que actualmente muchas empresas están poniendo muchos recursos para sacar adelante. Son proyectos que a día de hoy generan mucho interés y que tiene una alta demanda para trabajadores a futuro.

Apartado 3

Repaso histórico

Los vehículos autónomos en la actualidad están ganando relevancia. No obstante, se trata de un concepto que se remonta décadas atrás. Es por ello que, en este apartado, se va a realizar un repaso histórico acerca de cómo han ido evolucionando hasta los modelos que se pueden encontrar hoy en día.

Francis Houdina, fue un ingeniero eléctrico neuyorquino, que puso en práctica el concepto de vehículo autónomo. Así pues, en **1925**, mostró al público un prototipo de vehículo que fue capaz de recorrer 19 km entre Broadway y la Quinta Avenida, y que acabó chocando con otro coche, hecho que interrumpió su recorrido.

Cabe destacar, que a pesar de llevar a la práctica la búsqueda de un vehículo autónomo, este automóvil era controlado a distancia haciendo uso de radiofrecuencia, de forma que se podía encender y poner en marcha su motor, circular esquivando otros coches y accionar el claxon. A pesar de que el prototipo acabara colisionando, esto no supuso ningún impedimento para que este vehículo conocido como *Chandler* se construyera entre los años 1926 y 1930 (ver imagen 3.1)

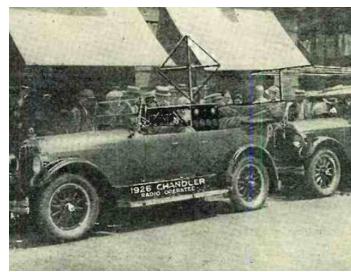


Figura 3.1: Vehículo radiocontrolado de Francis Houdina.

Unos años más tarde, en **1939**, Norman Bel Geddes, presentó en la feria de muestras Futurama, un vehículo autónomo que funcionaba con electricidad y se dirigía mediante radiocontrol (ver figura

APARTADO 3. REPASO HISTÓRICO

3.2). Además, era capaz de moverse por un circuito eléctrico integrado en el pavimento.



Figura 3.2: Vehículo radiocontrolado de Norman del Geddes.

Tiempo después, remontándonos a la década de los **años 80**, el alemán Ernst Dickmanns, considerado el padre del vehículo autónomo, junto con su equipo de la Universidad de Múnich, convirtieron una furgoneta Mercedes-Benz (ver figura 3.3), en un automóvil autónomo que hacía uso de visión para guiarse, y que además incorporaba una computadora integrada. Este vehículo fue capaz de recorrer las calles sin tráfico a una velocidad de 63 km/h.



Figura 3.3: Furgoneta Mercedes-Benz *VaMoRS* de Erns Dickmanns.

Esta furgoneta bautizada por Dickmanns con el nombre de *VaMoRs*, hacía uso de una cámara y sensores, además de un sistema para controlar el acelerador, frenos y volante, permitiendo así que el automóvil pudiera recorrer las carreteras sin invadir el arcén. Cabe destacar, que se requería que dos operarios fueran supervisando su funcionamiento.

El *software* desarrollado por Dickmanns permitía llevar a cabo la detección de las líneas de la carretera en tiempo real, esto era posible gracias a la evaluación de la imágenes que recogía la cámara. Así, en **1987**, *VaMoRs* era capaz de ir a 96 km/h durante un trayecto de 20 km. En **1989**, ya era capaz de reconocer ciertos obstáculos estáticos que pudiera encontrar en su camino, y detenerse. En **1992**, esta furgoneta consiguió el permiso por parte del ejército para circular por cualquier carretera alemana, con la condición de que el conductor siempre controlara la situación.

APARTADO 3. REPASO HISTÓRICO

Dado el interés que suscitó esta clase de proyectos sobre la Comisión Europea, hizo que ésta realizará una elevada inversión de dinero para desarrollar el proyecto EUREKA Prometheus con el que se buscaba desarrollar un vehículo autónomo. De forma que en **1994**, se consiguió que un vehículo recorriera más de 1000 km por París con tráfico, y un año después, hicieron modificaciones sobre un Mercedes-Benz clase S (ver imagen 3.4), con la cual fue capaz de realizar un recorrido entre Múnich y Copenhague, ida y vuelta, de forma autónoma, haciendo uso de visión artificial con movimientos sacádicos, además de un ordenador para reaccionar en tiempo real. Alcanzando velocidades superiores a los 175 km/h, y desempeñando maniobras de adelantamiento.

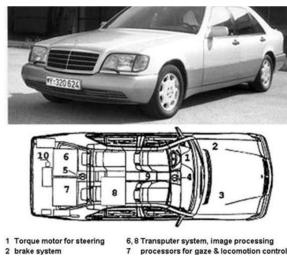


Figura 3.4: Mercedes-Benz clase S robotizada.

Paralelamente, en estos años, la DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency*) consigue llevar a cabo el primer vehículo que funcionaba usando visión artificial, un láser y un radar.

En lo que respecta a los avances en este campo realizados en el territorio nacional, los pioneros fueron los trabajos desarrollados por el CSIC (Consejo Superior de Investigaciones Científicas). En **2012**, tuvieron lugar en España las primeras pruebas de conducción autónoma en un recorrido de El Escorial a Madrid de unos 100 km, en el que se recorrieron todo tipo de escenarios, fue llevado a cabo por el grupo AUTOPIA del Centro de Automática y Robótica. Para las pruebas se requería que un vehículo manual generara dinámicamente un mapa de alta precisión, de forma que un vehículo totalmente autónomo (ver imagen 3.5) lo seguía, en el siguiente link se muestra un vídeo de las pruebas realizadas:

<https://www.youtube.com/watch?v=ksLXhbqTo74>

APARTADO 3. REPASO HISTÓRICO



Figura 3.5: Vehículo autónomo llevado a cabo por el grupo AUTOPIA.

En **2014**, de la mano de Audi, se lanzó el RS7 autónomo (ver figura 3.6). Se probó sobre el circuito de Hockenheim en Alemania, donde fue capaz de alcanzar los 240 km/h, y de completar una vuelta en poco más de 2 minutos, siendo así 5 segundos más rápido que un humano colocado tras el volante de este vehículo.



Figura 3.6: Audi RS7 autónomo.

Un año más tarde, en **2015**, se realizaron las siguientes pruebas:

- Audi y Delphi desarrollan el Audi SQ5 (ver figura 3.7) al que incorporan un sistema de conducción autónoma, con el que consiguen recorrer un total de 5400 km en 9 días, sin a penas intervenciones de los operarios dentro del coche.



Figura 3.7: Audi SQ5.

- Google realiza pruebas con un total de 25 vehículos autónomos (ver figura 3.8) para evaluar el tránsito de Mountain View (California). Dichos automóviles no iban a una velocidad superior de 40 km/h.

APARTADO 3. REPASO HISTÓRICO



Figura 3.8: Vehículo autónomo de Google.

En los últimos años, los avances en este sector son cada vez mayores, y cada vez son más los fabricantes que apuestan por esta gama de vehículos. Por ello, para concluir con este apartado se van a presentar algunos de los ejemplos más recientes que se pueden encontrar. Cabe destacar, que algunos de ellos aún están en fase de desarrollo.

- **Cruise Origin:** Este vehículo desarrollado por General Motors, se trata del primer vehículo eléctrico, totalmente autónomo y sin conductor, que no incorpora ni pedales ni volante (ver figura 3.9)



Figura 3.9: Cruise Origin.

Sus fabricantes afirman que este vehículo llevaría a cabo un servicio parecido al de un taxi o Uber, ya que cuenta con un espacio disponible para seis personas. A pesar de que sus creadores no han mostrado muchos detalles acerca de la tecnología que contiene, si han informado de que usa cámaras, radares tanto de corto como largo alcance, radares articulares y LIDAR.

- **Waymo:** Se trata de una empresa subsidiaria de Alphabec Inc. especializada en tecnología de vehículos autónomos.
 - *Waymo One:* Se trata de un servicio de transporte autónomo ofertado para los residentes del área metropolitana de Phoenix (Arizona).

Las personas que quieran hacer uso de este servicio tan sólo deben descargarse la aplicación para móvil *Waymo One*, y un vehículo autónomo (ver figura 3.10) de la compañía irá a recogerlos para llevarlos a su destino.

APARTADO 3. REPASO HISTÓRICO



Figura 3.10: Vehículo Waymo One.

Para su funcionamiento emplea mapas de la zona donde va a operar, los cuales presentan un gran nivel de detalle. Estos se combinan con los datos en tiempo real captados por los sensores para poder determinar la posición exacta donde se encuentra en cada momento.

Este vehículo autónomo es capaz de responder ante la presencia de señales como a los semáforos. Además, es capaz de planificar la mejor ruta, velocidad y maniobras para que la conducción sea lo más segura posible.

- *Waymo Via*: Vehículo autónomo dedicado al transporte de bienes (ver imagen 3.11) que emplea la misma tecnología y sensores que el vehículo anterior. Ya se han probado por California y Arizona.



Figura 3.11: Waymo Via.

- **Tesla**: Se trata de una empresa estadounidense, liderada por Elon Musk, mundialmente conocida por promover los vehículos eléctricos. Pero, que además destaca por el hecho de que todos los vehículos de última generación (ver figura 3.12) vienen por defecto con un hardware avanzado capaz de ofrecer al conductor las funciones de Piloto automático y la posibilidad de conducción autónoma total a través de una serie de actualizaciones software. Permiten al conductor: navegar en piloto automático, cambiar automáticamente de carril al circular por autopista, y el *autopark* en línea y batería.

APARTADO 3. REPASO HISTÓRICO



Figura 3.12: Tesla model X.

El uso de 8 cámaras en distintos puntos del vehículo y el potente procesamiento de la visión permite tener hasta un alcance de 250 metros con una visibilidad en 360º. Para poder llevar a cabo tal procesamiento de visión hace uso de una red neuronal profunda, bautizada con el nombre de *Tesla Vision*.

Apartado 4

Componentes *hardware* y *software*

Antes de adentrarnos y profundizar en cuáles son los distintos componentes software y hardware presentes en los vehículos autónomos más recientes. Se va a hacer una distinción de ellos para ponernos en situación. De forma que: el *hardware* hará referencia a todos los componentes **físicos** que conforman el equipo, mientras que el *software* se corresponderá con todo lo relativo a programas y reglas informáticas que hacen posible su funcionamiento.

4.1. Componentes *software*

Debido a la gran variedad de situaciones que pueden aparecer durante la conducción, realizar un *software* basado en las reglas de programación básicas como los condicionales es ineficiente y poco práctico. Es por ello, que los algoritmos que se desarrollan hacen uso de *machine learning*.

De tal forma, este tipo de algoritmos son entrenados haciendo uso de conjuntos de imágenes para que el vehículo sea capaz de distinguir los diferentes elementos que pueden aparecer en su camino como otros vehículos, señales de tráfico, peatones, etc.

Asimismo, también se han de desarrollar algoritmos para que el vehículo sea capaz de la toma y evaluación de decisiones , y actúe en consecuencia de ello.

Por último comentar, que actualmente grandes marcas como Tesla o Nissan, están incorporando nuevas técnicas basadas en modelos probabilísticos, con los cuales el coche ha de intentar predecir cuál ha de ser su posición en función de la situación que se dé.

4.2. Componentes *hardware*

Actualmente, las empresas Mobileye y Nvidia están liderando el mercado del *hardware* para coches autónomos. Dado que es complicado generalizar acerca de los componentes *hardware* y sensores que ha de incluir un coche autónomo, a continuación, se van a mostrar algunos de los componentes más importantes que están presentes en ellos:

- **Ordenador central:** Actuará como el cerebro del vehículo. Incorporará el *software* y será donde se procese toda la información captada por los distintos sensores en tiempo real.
- **LIDAR:** Mediante el uso de un haz de láser permite calcular la distancia a la que está un objeto. Además, es capaz de girar sobre sí mismo posibilitando así el mapeo en 360º. Asimismo, es capaz de trabajar ante condiciones meteorológicas y de luminosidad extremas.
- **Cámaras de visión:** Necesarias para que el vehículo sea capaz de captar los distintos elementos que aparecen a su alrededor, ya que en combinación con el software y las técnicas de visión proporcionarán al coche la visión que requiere para moverse por el entorno.
- **Radares ultrasónicos.**
- **IMU y GPS:** Se tratan de dos elementos que permiten obtener la posición relativa del vehículo y que se complementan mutuamente, ya que en caso de que se pierda la señal GPS, gracias a la IMU se tendrá la información tanto de la dirección como orientación del coche.
- **Micrófonos y sensores de sonido.**
- **Sensores y cámaras interiores:** Servirán para monitorizar el estado de las personas que estén dentro del vehículo.

En la figura 4.1, se muestra un esquema con la ubicación de los distintos componentes mencionados más arriba.

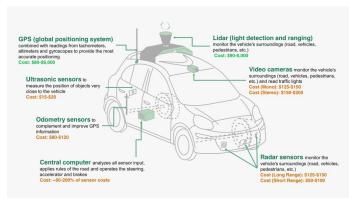


Figura 4.1: Componentes *hardware*.

Apartado 5

Legislación y regulación

La principal impresión que causan los vehículos autónomos son la gran cantidad de ventajas que permiten.

Algunas de ellas son la reducción de emisiones con vehículos auto-conducidos como buses, taxis o servicios de entrega que permiten hacer el transporte más verde, barato, eficiente y accesible; el acceso de comunidades rurales a servicios esenciales como sanitarios, educativos, laborales o sociales; aumento de la seguridad de la carretera mediante la reducción de errores humanos que derivan en accidentes, etc.

Como ya se ha adelantado, uno de los beneficios más destacables es el económico, pero ninguno de ellos sería posible si no se publica claramente que los vehículos autónomos son seguros y representan una gran ayuda para la sociedad, y para ello es necesario implementar una serie de regulaciones y legislaciones que permitan ampliar el conocimiento sobre estas nuevas tecnologías.

A medida que se produce un avance en la oferta y la producción de vehículos tanto autónomos como conectados, es necesario la existencia de una normativa que regule y permita su uso.

Así, esta regulación no es homogénea en todo el mundo, pues depende de la legislación de cada país, permitiendo la circulación de vehículos autónomos de hasta cierto grado de automatización, y que puede no ser el mismo en cada caso.

Para justificar esto, se ha realizado una investigación sobre el nivel de autonomía en vehículos que se permite en diferentes países:

En el caso de **Estados Unidos**, la regulación sufre modificaciones en función del Estado a estudiar. Así, hay estados donde únicamente se permiten utilizar los vehículos autónomos para investigación, como es el caso de Idaho o Wisconsin, o donde se permite cualquier tipo de automatización, con o sin operador humano, como sucede en Florida o Pensilvania.

APARTADO 5. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN

Por otro lado, en **Reino Unido**, al igual que sucede en **España**, el nivel de autonomía regulado y permitido por la ley tiene como máximo el nivel 2, pues resulta obligatorio que el conductor mantenga las manos en el volante. Esto significa que van menos avanzados que en otros países de Europa, como son **Francia**, permitiendo un nivel de autonomía 3, o **Alemania**, donde se puede llegar hasta un nivel 4.

A pesar de estas diferencias, en junio de 2020 fue aprobada por la UNECE (Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas) la primera regulación internacional para el uso de vehículos de nivel 3 de automatización, la denominada “*UN Regulation on Automated Lane Keeping Systems (ALKS)*”, adoptada por una gran variedad de países de la Unión Europea.

Dentro de esta normativa, el aspecto esencial que define es la seguridad para la movilidad en el futuro.

Así, aunque aparezcan pautas que permitan a estos vehículos alcanzar los **130 kilómetros por hora** (que entrará en vigor este enero de 2023), en realidad esto únicamente puede darse bajo ciertas condiciones, como en carreteras donde los peatones y ciclistas estén prohibidos, y equipadas con una separación física entre carriles donde se circula en sentidos opuestos. Además, al ser vehículos de tipo 3, el conductor sigue siendo responsable y debe poder retomar el control del sistema en cualquier momento.

Por tanto, el primer paso para poder utilizar un vehículo autónomo es la homologación y el registro de éste, sabiendo cuáles son los organismos encargados y las especificaciones requeridas.

En el caso de **España**, la **Ley de Seguridad Vial** especifica que las tareas de regulación y cumplimiento de las características de circulación de un vehículo autónomo las debe llevar a cabo el Ministerio del Interior, mientras que los aspectos relacionados con la homologación y requisitos técnicos se asignan al Ministerio correspondiente en materia de industria.

Por otra parte, en palabras textuales de este Decreto Legislativo, el Gobierno está habilitado para “*regular el procedimiento por el que se certifique que un vehículo dotado de un sistema de conducción automatizado cumple con las normas de circulación, así como la definición de las capacidades de automatización y de los entornos operacionales de uso que se harán constar tanto en el Registro de Vehículos como en los permisos de circulación*”.

Por ello, el titular de un vehículo autónomo, tal y como se indica en el artículo 11 del Decreto, tiene como obligación la comunicación al Registro de Vehículos de la Jefatura Central de Tráfico las capacidades o funcionalidades del sistema de conducción automatizado, así como su dominio, tanto en el momento de matriculación de éste como en posteriores situaciones donde se produzcan actualizaciones del sistema a lo largo de la vida útil del vehículo.

APARTADO 5. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN

Una vez que el vehículo se encuentra completamente dispuesto y autorizado para circular, es necesario mantener en todo momento vigente un concepto ya mencionado, que es la **seguridad**. Este aspecto resulta de vital importancia para poder definir el responsable legal en, por ejemplo, casos como siniestros.

Las comisiones de leyes de Inglaterra, Gales y Escocia han propuesto un documento de consulta o informe donde sugieren cambios en la legislación, concretamente en el llamado “*The Highway Code*”, para asegurar una normativa clara y actualizada de responsabilidad entre el conductor y el vehículo, con un ajuste en función del nivel de autonomía de la conducción.

Así, en el caso de que se utilicen vehículos autónomos con un nivel de autonomía donde siga siendo necesario que el conductor sea responsable de la conducción del vehículo, mientras que éste se encargue de otras subtareas como frenadas automáticas de emergencia o mantenimiento del vehículo en un determinado carril, **el conductor es el responsable** de las posibles incidencias que puedan suceder.

Por otro lado, en vehículos con un alto nivel de autonomía, capaces de llevar a cabo una conducción automatizada, **la responsabilidad caería en el fabricante**, pues el usuario al volante únicamente debe atender a las instrucciones de funcionamiento que le han sido proporcionadas por éste.

De este último caso deriva otra nueva obligación que las comisiones animan a incluir en el informe, y es la accesibilidad a los datos del vehículo y a su sistema, para poder conocer, por ejemplo, quién es el responsable de un accidente. Por ello, instan implementar sanciones e incluso consecuencias penales para aquellos fabricantes que no revelen el funcionamiento del sistema de autonomía de sus vehículos.

Más concretamente en España, en la **Ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor**, no está tan explícita la normativa a seguir cuando entran en juego vehículos autónomos, pues ya en el primer artículo de este decreto se especifica textualmente que “*el conductor de vehículos a motor es responsable, (...), de los daños causados a las personas o bienes con motivo de la circulación. (...) de esta responsabilidad sólo quedará exonerado cuando pruebe que los daños fueron debidos a la culpa exclusiva del perjudicado o a fuerza mayor extraña a la conducción o al funcionamiento del vehículo*

. No obstante, excluye como casos de fuerza mayor a los defectos del vehículo, roturas y fallos en mecanismos o piezas. Por ello, queda totalmente ambiguo si la responsabilidad recae sobre la persona al volante o sobre el propio vehículo.

De hecho, la única regulación firme que se ha llevado a cabo en España se aprobó en noviembre de 2015, cuando la Dirección General de Tráfico (DGT) publicó un decreto en el cual se permitían llevar a cabo pruebas con vehículos autónomos en carreteras con tráfico.

APARTADO 5. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN

No obstante, está expresamente escrito que se tratan únicamente de ensayos, por lo que los únicos autorizados a solicitar llevar a cabo este tipo de pruebas son los fabricantes, universidades o laboratorios. Además, la circulación de estos vehículos se limitaría a determinados tramos urbanos e interurbanos, por lo que no sería aplicable en todo el país. Asimismo, se recalca que debe estar un conductor siempre presente, para poder tomar el control del sistema siempre que sea necesario.

El último avance que se ha llevado a cabo en España en materia de seguridad en vehículos autónomos, se ha producido sobre aquellos de hasta un nivel 2 de automatización, siendo estos últimos los que incorporan sistemas ADAS (Sistemas Avanzados de Asistencia al Conductor) y los que serán evaluados, por ejemplo, en las pruebas ITV, y que empezó a practicarse desde el año anterior, 2022.

Por tanto, los nuevos vehículos que se fabriquen deberán empezar a incluir, de manera gradual, hasta ocho ADAS, siendo algunos ejemplos los sistemas de emergencia de mantenimiento de carril, frenado de emergencia, advertencia de somnolencia, asistente de velocidad inteligente, detector de objetos marcha atrás, registrador de datos, entre otros.

Como consecuencia, al igual que se exigía en “*The Highway Code*” la accesibilidad a los datos del vehículo, en este caso la norma estipula que los fabricantes deberán permitir el acceso a estos sistemas de ayuda a la conducción para llevar a cabo las pertinentes inspecciones. Así, se pretende que se aprueben una serie de reglamentos que permitan definir cómo deben funcionar estos ADAS y cómo deben ser comprobados en la ITV, como es la habilitación de un manual de revisiones técnicas, que faciliten el control de la calidad y el funcionamiento de los ADAS durante la conducción.

Sin embargo, esto no es tarea sencilla, pues desde la **Asociación Española de Entidades Colaboradoras de la Administración en la Inspección Técnica de Vehículos (AECA-ITV)** advierten que no todos los fabricantes están cumpliendo esta normativa, algunos de ellos dificultando el acceso a las especificaciones técnicas al ser un formato de datos poco estructurado, directamente imposibilitando su entendimiento, o incluso tratando de cobrar por ello.

Así, se recuerda desde este tipo de entidades el gran valor que tiene la homologación, comprobación y regulación de estos sistemas en los vehículos tanto inteligentes como autónomos, asegurando un correcto funcionamiento a lo largo de su vida útil, pues esto ayudará a incrementar la seguridad vial. De hecho, en el proyecto VIDAS se explica cómo la regulación y comprobación periódica de estos vehículos conllevaría a la reducción de un 40 % de los siniestros, un 29 % de las víctimas mortales y un 37 % de los heridos por tráficos de vehículos.

Por tanto, se puede resumir que la regulación de este tipo tecnologías aún está muy atrasada

APARTADO 5. LEGISLACIÓN Y REGULACIÓN

con respecto a los avances que se están produciendo, teniendo un marco legal bastante ambiguo. No obstante, sí se han producido intenciones de regular el uso de este tipo de vehículos, tanto en el marco europeo como dentro de las fronteras españolas.

En el caso de España, la legislación aún está “en pañales”. De hecho, en 2017, el Gobierno propuso un nuevo proyecto de Ley en el que se pretendía regular este tipo de vehículos y fomentar este sector de la industria, posicionándolo ventajosamente con respecto a otros países. Sin embargo, a día de hoy se puede ver que los progresos son prácticamente imperceptibles.

Sin embargo, en otros países si se ha acelerado en este aspecto, como ya se comentó en el caso de Estados Unidos.

Finalmente, se puede concluir que existen principalmente tres requisitos a cumplir actualmente:

- Necesidad de reglamentación futura mucho más precisa, tanto para la homologación de los vehículos como para las comprobaciones y seguridad de éstos, pudiendo verificar de manera clara cuándo se producen incumplimientos de ésta, con el fin de asegurar una protección tanto vial como medioambiental.
- Urgencia de reflexión sobre la legislación necesaria para permitir la conducción autónoma y dar forma a esta normativa ya mencionada.
- Crear un marco legislativo comunitario, pues la conducción autónoma se llevaría a cabo internacionalmente, siendo necesario poner en común los requisitos legales que deben cumplir los coches al cruzar fronteras.

Apartado 6

Problemas y perspectivas de futuro

Tal y como se expresó en el apartado anterior, el uso de vehículos autónomos suponen grandes mejoras en la sociedad. Sin embargo, también cuentan con una serie de desventajas, que en cierta medida suponen una ralentización de los procesos administrativos y legales comentados con anterioridad.

Algunos de los problemas más destacables que conllevan el uso de estas tecnologías en vehículos son los siguientes:

- **Coste elevado:** El hecho de que este tipo de vehículos incorporen tecnologías punteras, ya sea a nivel de sensorización o *software*, encarecen el precio, gracias al coste que tiene este tipo de electrónica y desarrollo de algoritmos.

Como ejemplo, el coche *Tesla Model X*, mencionado anteriormente en el apartado 3, cuesta alrededor de los 115.000 euros.

Es por ello que, a día de hoy, únicamente un grupo minoritario de personas son capaces de adquirir y asumir los costes de este tipo de vehículos.

- **Mantenimiento exhaustivo:** Al igual que en el caso anterior, viene derivado del uso de tecnologías innovadoras, y es por ello que necesitan una revisión más frecuente de sus componentes para asegurar su correcto funcionamiento, así como comprobaciones espaciales, como ya se comentó sobre la revisión de los sistemas ADAS en la ITV en el apartado anterior. Además, este tipo de vehículos también necesitan limpieza y cuidados especiales, debido a la facilidad de sufrir daños de estos componentes, por lo que existen casos donde incluso es necesario que se realice un lavado a mano.

- **Problemas de salud de los pasajeros:** Los más destacables son la fatiga y el mareo.

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Relacionado con la fatiga, el hecho de que los conductores no deban estar pendientes de la carretera, hace que no se mantengan alerta y, por lo tanto, aumente la fatiga y el aburrimiento, de manera que disminuye la capacidad de reacción ante posibles emergencias o riesgos, suponiendo un 20 % de las causas de los accidentes de tráfico.

Para evitar que se llegue a este punto, la empresa de vehículos autónomos de Google, *Waymo*, ha realizado un estudio sobre las causas que derivan al aumento de la fatiga, cómo monitorizarla y qué mecanismos se pueden implementar para prevenirla, como puede ser por ejemplo la incorporación de pequeños indicadores o botones que debe pulsar la persona al volante, es decir, mediante tareas cognitivas o alertas, ser capaces de mantener centrado al conductor.

Con respecto al mareo, la Universidad de Michigan ha realizado un estudio en el que 150 personas fueron pasajeras de un vehículo autónomo, donde el 11 % de éstas acabaron mareadas y el 4 % llegaron a vomitar.

Esto es un aspecto clave, ya que los pasajeros de los vehículos autónomos, al no tener que centrarse en la conducción o circulación, llevarán a cabo otras tareas en su interior, como por ejemplo consultar sus dispositivos móviles.

Es por ello que en este estudio se plantea el remedio de utilizar algoritmos de Inteligencia Artificial que sean capaces de aprender a conducir de manera que se eviten, en la mayor medida posible, los mareos que se puedan producir en los pasajeros.

■ **Conducción con climatología adversa:** En caso de tener que realizar la circulación bajo condiciones climatológicas como lluvias, niebla, nieve o baja luminosidad, la eficacia de la conducción puede verse disminuida, lo que conlleva un mayor riesgo para la seguridad tanto de los pasajeros como del exterior del vehículo.

■ **Problemas de Seguridad Vial:** Referido al estado de las vías y carreteras, los vehículos autónomos a día de hoy, no son capaces de transitar correctamente en zonas en obras, con asfalto deteriorado o irregular, con baches en el camino o incluso cuando las señales de tráfico están deterioradas, aumentando el riesgo de peligro de los pasajeros y su entorno.

■ **Toma de decisiones:** Relacionado principalmente con los vehículos autónomos de nivel superior a 3, donde pueden entrar en conflicto las decisiones que toma el conductor con las del vehículo.

Por ejemplo, ante un riesgo de accidente, un vehículo autónomo superpondría la seguridad de los pasajeros antes que al de los peatones, mientras que normalmente el conductor haría lo contrario.

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Estas cuestiones éticas aún deben valorarse, investigarse y aparecer de forma clara en las convenientes normativas legales.

- **Problemas de ciberseguridad:** Un aspecto claro que deben tener en cuenta los fabricantes de este tipo de vehículos es la vulnerabilidad de sus sistemas, pues en caso de que se accediera a ellos de manera externa, podría suponer graves consecuencias en la seguridad vial. Es por ello que los fabricantes deben apostar por sistemas de ciberseguridad adecuados para mantener seguros a los pasajeros, los peatones y el entorno que lo rodea.
- **Problemas de procesamiento de datos:** Principalmente debido a la gran cantidad de información que deben manejar, desde los sensores y cámaras, como la que deben transmitir a los actuadores del vehículo o sistemas de emergencia. Así, se propone utilizar una red de comunicaciones extensa, y pasar a ser vehículos conectados, gracias a la transferencia de información mediante redes 5G adecuadas en las vías y carreteras.

Conociendo ya las ventajas y los problemas que puede causar el uso de vehículos autónomos, es necesario estudiar cuáles son las previsiones que se tienen sobre su expansión.

Antes de investigar cuáles son las perspectivas de futuro, es importante saber cuál es el estado actual de la extensión del uso de este tipo de vehículos.

Para ello, la Asociación Española de Fabricantes de Automóviles y Camiones (ANFAC) escribió el primer informe sobre el vehículo autónomo y conectado en junio de 2022.

En este documento, se realiza un estudio en base a una serie de indicadores para determinar, en un marco global, cuál es el contexto a nivel tecnológico, de infraestructura y de inversión en el que se implantarían estos vehículos.

Esto es un aspecto clave, pues aunque los fabricantes desarrollos vehículos autónomos cada vez más sofisticados, es necesario que el entorno sea lo más favorable posible para instaurarlos.

Así, estos indicadores recogidos son originarios de otros estudios, pero se han agrupado para poder visualizar de forma clara la situación de varios países del mundo. Estos marcadores son los siguientes:

- **Ciberseguridad.** Se mide la calidad de la seguridad de los datos ante posibles ataques, como puede ser la inversión en este tipo de *software*, así como el estado de la normativa y legislación vigentes.
- **Conexión.** Evaluación de la calidad de las comunicaciones, como son las redes de conexión de fibra óptica, 4G o 5G, así como de otros aspectos como el ancho de banda o la latencia de la red.

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

- **Inversión tecnológica.** Como su propio nombre indica, mide el desarrollo de los avances tecnológicos a nivel nacional.
- **Red de carreteras.** Análisis del grado de conectividad entre las diferentes vías y carreteras a nivel de infraestructura nacional.

Así, el resultado que se obtiene a nivel mundial del análisis y estudio de estos indicadores es el recogido en la siguiente figura:

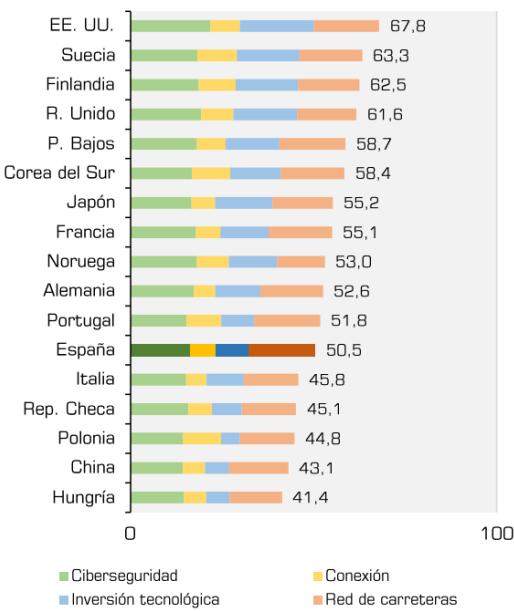


Figura 6.1: Gráfica del resultado final obtenido a nivel global.

Como era de esperar, Estados Unidos se encuentra a la cabeza, lo que significa que, actualmente, es el país donde el entorno es más favorable para el desarrollo e integración de los vehículos autónomos. Esto se refleja claramente, como se expresó en el apartado anterior, en el elevado nivel de autonomía que se permite para la circulación.

No obstante, en el caso de España, aunque destaca por la calidad de su red de carreteras, aún queda mucho camino por recorrer en materias de inversión en las nuevas tecnologías y la conectividad necesaria.

Una vez conocido el contexto actual en el que se implantan estos vehículos, también resulta interesante conocer cuál es la oferta actual, en este caso, centrada en España.

Para ello, se han utilizado otros dos indicadores, que son el **nivel de autonomía potencial** y el **nivel de autonomía real**.

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

La diferencia entre ambos conceptos es que la autonomía potencial viene referida al nivel máximo de autonomía que se puede alcanzar en la fabricación, aunque no sea factible su incorporación al mercado; mientras que la autonomía real es el nivel de autonomía que se encuentra actualmente ofrecido.

En el caso del nivel de autonomía potencial, los resultados son los siguientes:

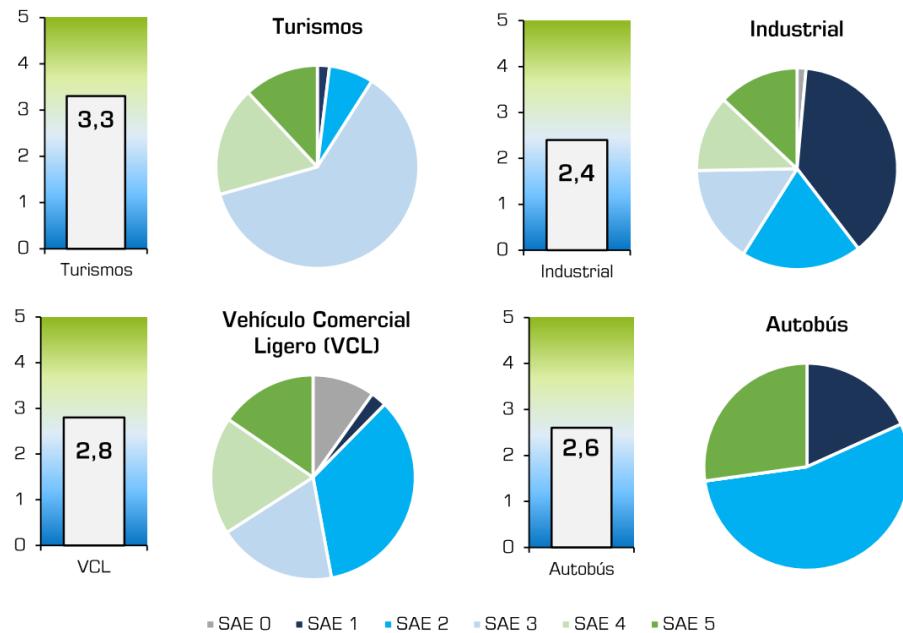


Figura 6.2: Gráfica de distribución del mercado potencial según el tipo de vehículo y los niveles de autonomía disponibles por los fabricantes.

Como se puede observar, en los vehículos ligeros (Turismos y VCL) está muy extendida la fabricación de vehículos de nivel de autonomía 2 y 3, siendo este último mayoritario en los turismos. Además, se puede observar que los fabricantes también tienen capacidades tecnológicas suficientes para fabricar vehículos de nivel de autonomía 5, aunque aún no estén permitidos por la legislación, como ya se comentó.

Por otro lado, los vehículos pesados están más atrás, pues se quedan alrededor del nivel 2. Una característica interesante es que los vehículos industriales mayoritarios en la fabricación son los de autonomía 1, al estar en entornos más peligrosos y donde el conductor debe estar más alerta, mientras que en los autobuses se trata del nivel de autonomía 2.

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

Por otro lado, el nivel de autonomía real a día de hoy se encuentra en el siguiente estado:

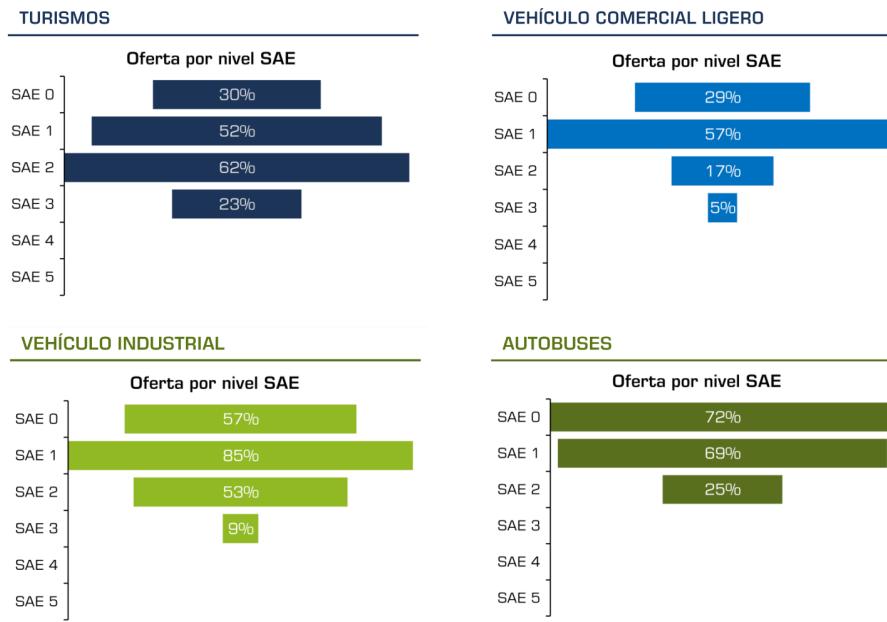


Figura 6.3: Gráfica de distribución del mercado real según el tipo de vehículo y los niveles de autonomía disponibles por los fabricantes.

En este caso, se ve claramente que la oferta disminuye a partir del nivel 2 de autonomía, como era de esperar, pues el máximo permitido para circular a día de hoy en España es de 2, mientras que el nivel 3, que aparece en algunos gráficos, se reserva para las pruebas y ensayos, tal y como se explicó con anterioridad.

Otro rasgo interesante de estos gráficos es, en el caso de los autobuses, que la mayoría de los modelos ofertados cuentan con un nivel de autonomía 0, es decir, sin ayudas electrónicas a la conducción, y esto puede ser debido a que, al contar con más pasajeros, la responsabilidad del vehículo es mucho mayor, y al no haber una regulación clara sobre responsabilidad vial en vehículos autónomos, no está tan desarrollado un nivel de automatización superior.

El último estudio a destacar de este informe está relacionado con la conectividad del vehículo según su funcionalidad, obteniendo el siguiente resultado:

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

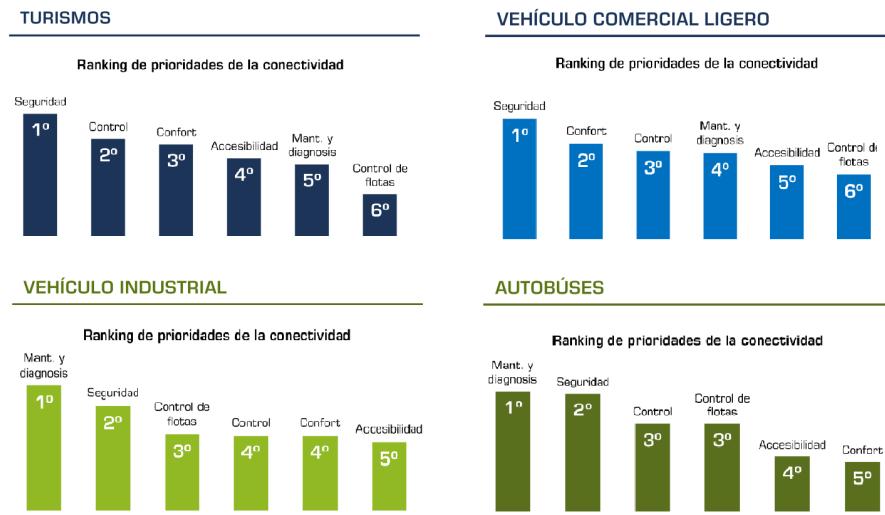


Figura 6.4: Gráfica de clasificación de prioridades de la conectividad según el tipo de vehículo.

Se puede ver que en los vehículos ligeros a día de hoy destacan la seguridad, el control y el confort del vehículo, mientras que en los vehículos pesados son más significativos el mantenimiento y diagnosis, la seguridad, el control de flotas y el propio control del vehículo.

Esto varía en función de la aplicación y el destinatario a la que van dirigidos este tipo de transportes.

Finalmente, una vez se conoce el estado actual del uso de vehículos autónomos, se puede pasar a ahblar de cuáles son sus previsiones de futuro.

El estudio de la consultora PwC, en concreto los informes “*Digital Auto Report 2020*” y “*Digital Auto Report 2021*”, especifican que los vehículos autónomos de nivel 4 esperan un crecimiento de ventas del 15 % para el 2035, tanto en Europa como en China. Por otro lado, los vehículos de nivel 5 apenas esperan tener un crecimiento de un 1 %, debido al atraso de la implementación de estos sistemas, su regulación y el miedo ante el aumento de la siniestralidad.

Sin embargo, sí se espera un gran avance en materia de vehículos conectados.

De hecho, en España, la DGT apuesta por el coche conectado mediante la plataforma DGT 3.0, aunque aún está en fase de pruebas y aún queda muy lejos de su implementación, principalmente debido a la falta de normativa.

Asimismo, se tiene la expectativa de que en 2025 aumente un 50 % la oferta de vehículos conectados en Europa, en el caso de Estados Unidos la esperanza se sitúa en 2023 y, en China, en 2029.

APARTADO 6. PROBLEMAS Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

En el caso de Reino Unido, esperan poder permitir una conducción segura de vehículos totalmente autónomos en 2025, y gracias a este mercado emergente, poder crear hasta 38.000 puestos de trabajo, generando valor económico de hasta 42 billones de libras.

En Corea del Sur esperan que más del 50 % de los vehículos ofertados en 2030 sean de, al menos, un nivel 3 de autonomía.

Así, se puede concluir que hay una gran lentitud con respecto a los avances en la conducción autónoma, siendo más temprana la implementación del vehículo conectado. Además, se prevé un crecimiento desigual en todo el globo, principalmente por las diferencias en las normativas de regulación y legislación, pero sí se está viendo un claro afianzamiento y grandes expectativas referidas a este tipo de movilidad.

Apartado 7

Demostración práctica

Dentro del campo de los vehículos autónomos, es necesario el empleo de un software que sea lo suficientemente capaz de detectar elementos característicos de la carretera como pueden ser, otros vehículos, señales de tráfico, peatones...

Es por ello que, para la sección práctica de este trabajo, se ha decidido utilizar un algoritmo ya desarrollado, para realizar una demostración de su desempeño con diferentes tipos de situaciones.

Tras la realización de una búsqueda de diferentes métodos y algoritmos, se escogió el desarrollado por Alen Smajic y subido en su perfil dentro de la plataforma de *Github*.

Por su parte, Alen decidió implementar 2 tipos de métodos para realizar su correspondiente comparación, con *YOLO* y con *Faster R-CNN* [22]. Sin embargo, por falta de memoria dentro de la GPU con la que se cuenta, no fue posible aplicar el método con *YOLO*.

Por tanto, la realización de las pruebas se desempeñaron con *Faster R-CNN* que, a pesar de presentar un menor valor de FPS, el valor de precisión media (mAP), supera al primero en más de un 20 %.

Faster R-CNN es una red convolucional utilizada para la detección de objetos, conformada por una única red unificada de extremo a extremo (figura 7.1).

Esta consiste en una mejora de sus predecesoras, *R-CNN* y *Fast R-CNN* y funciona de manera que, detecta, en primer lugar, unas regiones donde podrían existir objetos clave en una imagen con el método *Region Proposal Network (RPN)*. Seguidamente, se extraen las características CNN, es decir, basadas en la red convolucional, dentro de dichas regiones

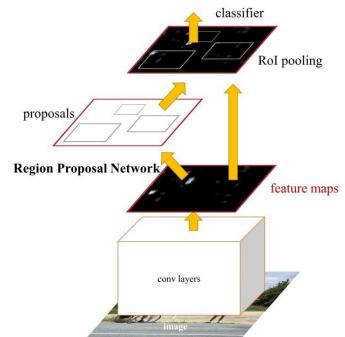


Figura 7.1: Estructura de *Faster R-CNN*.

APARTADO 7. DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA

ajustando el tamaño de este vector de características con *ROI*.

Finalmente, con las características obtenidas, se clasifican las regiones establecidas al principio, en base a las categorías elegidas. Este método, como su nombre indica supera en rapidez de ejecución a sus antecesores, no obstante, no alcanza los resultados de *YOLO*.[23]

Como es de esperar, la eficiencia del método, no solamente depende, aunque sí está estrechamente relacionado, con su estructura, sino que, también es influido por el *dataset* con el que se ha entrenado.

De esta manera, Alen Smajic, utiliza *BDD100K*, considerado el repositorio con datos de vídeo de conducción más grande, contando con 100.000 vídeos y 10 tareas para evaluar el progreso de los algoritmos de reconocimiento de imágenes durante la conducción autónoma.

Con todos estos datos recogidos, se procede a la demostración de su funcionamiento con vídeos de diferente tipo:

- **Vídeo durante el día.**

Como se puede observar, el resultado es muy satisfactorio cuando de precisión se trata dado que, detecta coches dentro de la vía y en la vía colindante, así como, señales de tráfico de todo tipo.

Sin embargo, detecta algunos falsos positivos, sobre todo cuando la distancia a estos es muy lejana y, siempre en dependencia del paisaje y fondo de la escena.

<https://drive.google.com/file/d/11hukyq3AxzMC-hq018AiWNtIcsiuQ7wV/view?usp=drivesdk>

- **Vídeo nocturno.**

Para ser un vídeo en condiciones escasas de luz, el desempeño del método es excelente, sobre todo cuando los objetos se encuentran algo más cerca del vehículo.

En este caso, no es posible detectar los coches que circulan en dirección contraria en la vía contigua.

<https://drive.google.com/file/d/1dHKvP4Ps2A5tD2PqveANWgVHabKdd9vc/view?usp=drivesdk>

- **Vídeo con peatones**

Los peatones son elementos muy característicos y que, por tanto, este algoritmo es capaz de detectar sin problema, además de detectar a una bicicleta y al propio ciclista.

Y, sin contar con los coches, cuya detección es realizada con mucha precisión, incluso aquellos aparcados a una gran distancia de la cámara.

APARTADO 7. DEMOSTRACIÓN PRÁCTICA

[https://drive.google.com/file/d/1T4fa_aeSICGxFvSHndXwhb1r1sv7rCL/view?usp=drivesdk](https://drive.google.com/file/d/1T4fa_aeSICGxFvSHsndXwhb1r1sv7rCL/view?usp=drivesdk)

■ Vídeo con semáforos y a cámara lenta

En este vídeo es notorio que, el reconocimiento de las regiones se realiza prácticamente perfecto pero, cuando se trata de la clasificación, se obtienen unos resultados algo escasos.

Suponemos que, el entorno del vídeo así como, la disposición y distancia de algunos de los objetos puede llegar a confusión de las clases. Es posible que, por ejemplo, algunos semáforos sean detectados como señales y viceversa debido a que, dentro de los vídeos con los que ha sido entrenada la red, estos objetos podrían ser muy diferentes.

<https://drive.google.com/file/d/1AqCjyGhvvJ8QNoGOBcHo7CdthhGhkEnI/view?usp=drivesdk>

■ Vídeo con movimiento inestable

Por último, se realizaron pruebas con un vídeo algo más desafiante, al utilizar la grabación de una cámara inestable dentro del coche.

Así pues, se demuestra que, ante situaciones complejas de vídeo, el resultado del método es muy bueno, como se puede observar en la demo adjuntada.

<https://drive.google.com/file/d/1S8AbTUru0wugaM0Rixzt2nSLLbChEY3k/view?usp=drivesdk>

Apartado 8

Bibliografía

1. **Vehículo autónomo:**
https://es.wikipedia.org/wiki/Veh%C3%ADculo_aut%C3%B3nomo#Historia
2. **Ernst Dickmanns, el desconocido padre alemán de los coches inteligentes.** Cristina Sánchez. 30 abril 2015:
https://www.eldiario.es/hojaderouter/tecnologia/ernst-dickmanns-vehiculo-autonomo-inteligente_1_5858992.html
3. **El Cruise Origin es el primer coche de conducción autónoma de General Motors previsto para una fabricación en serie.** Daniel Murias. 22 enero 2020:
<https://www.motorpasion.com/industria/cruise-origin-primer-coche-conduccion-autonomia-general-motors-previsto-para-fabricacion-serie>
4. **Waymo:**
<https://waymo.com/intl/es/waymo-driver/>
5. **Tesla Autopilot:**
https://www.tesla.com/es_ES/autopilot%20
6. **Normativa de regulación de vehículos autónomos en Estados Unidos:**
<https://www.ghsa.org/state-laws/issues/autonomous%20vehicles>
7. **Informe de la UNECE sobre la normativa de vehículos autónomos:**
<https://unece.org/media/press/368227>
8. **Real Decreto Legislativo de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial:**
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2015-11722>

APARTADO 8. BIBLIOGRAFÍA

9. Reglas sobre el uso seguro de vehículos autónomos en las carreteras de Gran Bretaña:
<https://www.gov.uk/government/consultations/safe-use-rules-for-automated-vehicles-av/rules-on-safe-use-of-automated-vehicles-on-gb-roads>
10. Real Decreto Legislativo de la Ley sobre responsabilidad civil y seguro en la circulación de vehículos a motor:
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2004-18911>
11. Autorización de la DGT de pruebas o ensayos de investigación realizados con vehículos de conducción automatizada en vías abiertas al tráfico en general:
<https://www.dgt.es/export/sites/web-DGT/.galleries/downloads/muevete-con-seguridad/normas-de-trafico/VEH-vehiculos/15.V-113-Vehiculos-Conduccion-automatizada.pdf>
12. Verificación en ITV de los sistemas de ayuda al conductor: <https://www.aeca-itv.com/sala-de-prensa/noticia/las-itv-se-preparan-para-la-verificacion-de-los-sistemas-de-ayuda-al-conductor-que-seran-obligatorios-partir-de-2022/>
13. Proyecto VIDAS (Seguridad VIal & aDAS) desarrollado por Bosch y FESVIAL:
<https://fesvial.es/los-sistemas-adas-evitarian-el-40-de-los-siniestros-viales-y-el-29-de-las-victimas/>
14. Artículo sobre la legislación española de los coches autónomos:
<https://www.xataka.com/vehiculos/que-dice-legislacion-espanola-coches-autonomos-instrucion-muchas-incognitas>
15. Artículo sobre los 8 posibles problemas de los coches autónomos:
<https://www.clicacoches.com/problemas-coches-autonomos/>
16. Favaro, Francesca & Hutchings, Keith & Nemec, Philip & Cavalcante, Leticia & Victor, Trent. (2022). *Waymo's Fatigue Risk Management Framework: Prevention, Monitoring, and Mitigation of Fatigue-Induced Risks while Testing Automated Driving Systems.*
https://www.researchgate.net/publication/363084280_Waymo's_Fatigue_Risk_Management_Framework_Prevention_Monitoring_and_Mitigation_of_Fatigue-Induced_Risks_while_Testing_Automated_Driving_Systems
17. Molnar, L. J. (2017). *A Testbed for Motion Sickness in Driverless Vehicles.* University of Michigan, Ann Arbor, Transportation Research Institute.
<https://mcity.umich.edu/wp-content/uploads/2019/08/mcity-whitepaper-motion-v6.pdf>

APARTADO 8. BIBLIOGRAFÍA

18. **Informe de ANFAC sobre el vehículo autónomo y conectado:** <https://anfac.com/wp-content/uploads/2022/06/Informe-sobre-Vehiculo-Autonomo-y-Conectado-2022.pdf>
19. **Digital Auto Report 2020:**
<https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/digital-auto-report-2020/digital-auto-report-2020-full-version.pdf>
20. **Digital Auto Report 2021:**
<https://www.strategyand.pwc.com/de/en/industries/automotive/digital-auto-report-2021.html>
21. **Artículos sobre la revolución de la conducción automática en Reino Unido:**
<https://www.lexology.com/library/detail.aspx?g=050750d4-59d4-4d02-9f72-84024fe51375#:~:text=However%20this%20is%20an%20ambitious,way%20behind%20the%20other%20countries.>
<https://www.gov.uk/government/news/self-driving-revolution-to-boost-economy-and-improve-road-safety#:~:text=Some%20vehicles%2C%20including%20cars%2C%20coaches, self%2Ddriving%20vehicles%20by%202025.>
22. **Real-time-Object-Detection-for-Autonomous-Driving-using-Deep-Learning:**
<https://github.com/alen-smajic/Real-time-Object-Detection-for-Autonomous-Driving-using-Deep-Learning>
23. **Faster R-CNN Explained for Object Detection Tasks:**
<https://blog.paperspace.com/faster-r-cnn-explained-object-detection/#:~:text=Faster%20R%2DCNN%20is%20a, the%20locations%20of%20different%20objects>